

УДК: 358.119.1

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_49

**ПРИНЦИПЫ ИНДУСТРИИ 4.0 В ОЦЕНКЕ И ПОВЫШЕНИИ
ЗАЩИЩЕННОСТИ ВОЕННЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН**

**THE PRINCIPLES OF INDUSTRY 4.0 IN ASSESSING AND IMPROVING
PROTECTION OF MILITARY TRACKED VEHICLES**

И.И. Баранов, С.А. Кислицын, чл.-корр. РАН Е.А. Хмельников, И.Д. Шадрин

НТИ (филиал) УрФУ

I.I. Baranov, S.A. Kislitsyn, E.A. Khmelnikov, I.D. Shadrin

Рассмотрены общие особенности численного моделирования процесса взаимодействия противотанковых средств с объектом, защищенным комплексной многослойной броней, а также предложен уточненный подход к классификации средств поражения, удобный для реализации в методиках численного моделирования.

Ключевые слова: боеприпасы, средства поражения, поражающие факторы, классификация, моделирование.

In the article authors consider the general features of numerical modeling of the process interaction between anti-tank weapons and object, protected by complex multilayer armor. Also, authors propose to clarify the approach of the classification for means of destruction.

Keywords: ammunition, damaging factors, classification, modeling.

Большинство авторов работ, посвященных решению задач защищенности [1–3], констатируют необходимость целостного взгляда на возрастающую сложность решения задач защищенности. При этом и для описания ситуаций решения огневых задач [4–8], и для анализа защищенности военной гусеничной машины (ВГМ) используется статистический подход [1–8].

Один из основоположников теории вероятностей А.Н. Колмогоров утверждал, что нет формализованного способа получить значение вероятности. Но если вероятность как-то определена, то тогда теория вероятностей определяет набор корректных действий, которые можно осуществлять с имеющимися вероятностями.

Вероятностные подходы к определению защищенности танков подробно и глубоко проработаны в работе «Защита танков» [2], но в этой работе даны лишь общие оценки факторов, влияющих на вероятности повреждений в ре-

зультате противодействия противника. Методы получения значений вероятностей не описаны.

С другой стороны, известен афоризм итальянского вероятностного статистика и актуария Бруно де Финетти: «Вероятности не существует», которым он выражал идею о том, что вероятность — это выражение взгляда наблюдателя на мир. И, таким образом, мы имеем не рефлексивную, а валюативную процедуру, и вынуждены прибегать к опросу экспертов, как источнику получения значения вероятности.

Кроме того, еще в 1948 году Уоррен Уивер в своей работе «Наука и сложность» утверждал, что «методы статистической механики действительны только тогда, когда они (объекты) распределены по своим положениям и движениям беспорядочно, то есть неорганизованно» [9]. Уоррен Уивер предостерегал от чрезмерного увлечения статистическими методами в случаях, когда вероятность событий существенно

упорядочиваются, например, корректируется поведением людей. Он провел различие между двумя формами сложности: неупорядоченной сложностью и упорядоченной сложностью. Явления «неупорядоченной сложности» рассматриваются с использованием теории вероятностей и статистической механики, в то время как «упорядоченная сложность» имеет дело с явлениями, которые требуют одновременного рассмотрения значительного числа факторов, взаимосвязанных в единое целое.

Из перечисленного можно сделать вывод, что сложность технического средства упорядоченная и ею следует управлять на основе подходов системного инжиниринга, а сложность взаимодействия с противником можно в первом приближении представить как неупорядоченную и в этом случае для нее необходимо получать значения вероятностей.

Современные открытые источники в качестве основы для задания значений вероятности ссылаются на данные, источником которых в итоге являются отчеты ЦНИИ-48 времен Великой Отечественной войны (ВОВ). Эксперты института осматривали подбитые машины в местах их ремонта. Так, осенью 1942 года были изучены поражения 178 танков, среди которых большая часть была подбита. Машины осматривались на московских рембазах № 1, № 6 и № 112. На этой основе в работе [6] постулируется следующее: «В качестве объекта оптимизации рассматривают всю совокупность средств (элементов комплекса), участвующих в выполнении огневых задач и непосредственно влияющих на эффективность их выполнения. Выбор более частной модели для решения рассматриваемой задачи оптимизации не оправдан, так как каждый элемент комплекса вносит свой вклад в выполнение огневой задачи, однако самостоятельно ее выполнить не может» [6]. На сегодня этот постулат не соответствует действительности.

Характер современных боевых действий не соответствует картинам, представляющим собой столкновения нескольких фронтов с концентрацией 300 стволов на 1 км фронта и удары танковой дивизией или армией. Речь сегодня идет о боях мобильных групп среди опорных пунктов. При этом каждая боевая единица представляет собой существенную часть боевого ресурса, а решение каждого командира

танка меняет картину боя. Каким образом получить распределение вероятностей поражения для различных проекций и зон ВГМ в современном бою? Сегодня вместо опроса экспертов можем применить интерактивную симуляцию. Для реализации динамического моделирования, а возможно и для инструментов оперативного управления, вполне пригоден программный аппарат, разработанный в так называемых *real-time strategy* (RTS — стратегиях реального времени). Только в качестве юнитов будут выступать цифровые двойники комплексов вооружения, а эксперты будут ими управлять.

Симуляция предполагает виртуализацию исследуемой системы, а наиболее полно данные методы описаны в идеологии «Индустрия 4.0». Насыщение современного поля боя комплексами вооружений (КВ), имеющими в своем составе разведывательные, ударные и информационно-управляющие комплексы, позволяет применить к разработке и применению компонентов КВ принципы Индустрии 4.0.

Тобиас Пентек, Марио Херман из университета Санкт-Галлена и Борис Отто из Дортмундского технического университета в работе «Сценарии и принципы проектирования для Industry 4.0» [10] дают следующее определение: «Индустрия 4.0 — это собирательный термин для технологий и концепций организации цепочки создания стоимости».

В рамках модульно структурированных интеллектуальных фабрик Индустрии 4.0, киберфизические системы (КФС) отслеживают физические процессы, создают виртуальную копию физического мира и принимают децентрализованные решения. С помощью интернета вещей (IoT — Internet of Things) КФС общаются и сотрудничают друг с другом, а также с людьми в режиме реального времени. С помощью IoT участники цепочки создания стоимости предлагают и используют как внутренние, так и межорганизационные услуги [10].

Несложно интерпретировать данное представление в перспективы развития цифрового поля боя. В результате получается следующая формулировка. Интерпретируя данное определение для описания высокотехнологичного противостояния, можно сформулировать, что цифровое поле боя — это собирательный термин для технологий и концепций, направленных на

организацию связанной последовательности выполнения боевых задач.

В рамках модульно структурированных интеллектуальных КВ киберфизические системы отслеживают физические процессы, создают виртуальную копию физического мира и готовят децентрализованные решения. С помощью интернета вещей КФС общаются и сотрудничают друг с другом и с людьми в режиме реального времени. С помощью интернета вещей подразделения, участвующие и обеспечивающие выполнение боевых задач, информируют друг друга о тактической обстановке. При этом совместно используют как внутренние силы и средства, так и средства усиления.

Пример такой модели цифрового поля боя с цифровыми двойниками комплексов вооружения представлен на рис. 1.

ВГМ в такой интерпретации представляют собой классические киберфизические системы, и, исходя из этого, к ним применимы требования интероперабельности, виртуализации и возможности распределенного управления в реальном времени.

Интероперабельность — это характеристика объекта, описывающая его пригодность для работы с другими объектами или системами. Первоначально этот термин был определен для

услуг в области информационных технологий, обеспечивающих обмен информацией, в дальнейшем термин применен в системной инженерии, а сейчас это понятие получило более широкое определение и включает в себя большинство факторов, влияющих на межсистемные взаимодействия.

Типы интероперабельности включают в себя семантическую интероперабельность — способность киберфизических систем (например, боевых машин разного типа) взаимодействовать друг с другом, и междоменную интероперабельность — способность нескольких комплексов вооружений работать вместе и обмениваться информацией без необходимости вмешательства операторов для ее конвертации. Помимо способности двух или более компьютерных систем обмениваться информацией, интероперабельность — это способность киберфизических систем автоматически интерпретировать информацию, которой они обмениваются, для получения полезных результатов, определенных конечными пользователями указанных систем. Для достижения семантической интероперабельности все стороны должны ссылаться на общую эталонную модель обмена информацией. Содержание запросов на обмен информацией определено однозначно — то, что отправляется, совпадает с тем, что принимается.



Рис. 1. Цифровое поле боя

Интероперабельность поиска означает возможность поиска по двум или более информационным системам с помощью одного запроса.

Принципы построения семантической интероперабельности при моделировании ударных возможностей КВ изложены в статье «Боеприпасы, средства поражения и поражающие факторы. Общность и различия понятий для целей математического моделирования» [11]. Для ее достижения требуется переход от необходимости описания видов боеприпасов к формируемым ими средствам поражения, а задачу взаимодействия с целью решать, анализируя поражающие факторы, характеризующие каждое средство поражения. Это позволяет ограничить семантику ударных средств всего восьмью поражающими факторами: ударный, фугасный, бризантный, кумулятивный, термический, электромагнитный, проникающие излучения, химический [11].

Междоменная интероперабельность предполагает взаимодействие для обмена информа-

цией множества социальных, организационных, политических, юридических лиц, работающих вместе ради достижения общей цели. Междоменная интероперабельность при моделировании защищенности ВГМ требует однозначного соответствия терминов, описывающих возможности ударных средств, терминам, характеризующим защитные свойства ВГМ.

Используемые в ГОСТах и литературе термины, относящиеся к защищенности и ударным возможностям, можно разделить на 3 группы: объекты, события, свойства.

Объекты: броня, боеприпасы, средства поражения, средства доставки, преграды, защитные структуры, цели, артиллерийские выстрелы, КВ, броневые преграды (табл. 1).

События: выстрелы из орудия, поражения цели (подавление, уничтожение), поражения преграды (кондиционные и некондиционные), поражения танка при условии попадания, повреждение, ущерб, вред, отказ, разрушение, проникание (табл. 2).

Таблица 1

Классификация объектов

Объекты	Структурный (физический)	Процессный (преобразующий)	Функциональный (абстрактный)	Определение термина	Свойства
Боеприпасы (БП)	1			Расходная часть ударных средств комплекса вооружений, содержащая: разрывной, метательный, пиротехнический, вышибной заряды или их сочетание [12]	Тип, класс, вид, калибр, используемые средства доставки
Средства поражения (СП)		1		Объект, возникающий в результате применения боеприпасов в процессе функционирования вооружения, непосредственно предназначенные для воздействия на защищаемый объект [11]	Могущество — способность причинять ущерб требуемого уровня объекту поражения; характеризует их действие у цели. Спектр поражающих факторов, способных преодолевать защиту выбранной цели — наносить ущерб или причинять вред
Поражающий фактор (ПФ)			1	Параметризованная модель физического явления, причиняющего ущерб или вред [11]	Мощность, спектр
Средства доставки и носители		1		Ударные средства комплекса вооружений	Дальность, скорость, точность, грузоподъемность

Объекты	Структурный (физический)	Процесный (преобразующий)	Функциональный (абстрактный)	Определение термина	Свойства
Комплекс вооружений (КВ)			1	Совокупность ударных, управляющих, разведывательных и обеспечивающих образцов ВВСТ для самостоятельного выполнения боевых задач	Огневая мощь — способность ударных средств комплекса вооружений наносить поражения
Военная гусеничная машина (ВГМ)	1			Вооруженная самоходная машина с гусеничным двигателем	Работоспособность, (боеспособность), защищенность — свойство изделия снижать вред от ПФ определенных СП стойкость — свойство сохранять работоспособное состояние во время и после воздействия на изделие комплекса ПФ определенного СП
Защитная структура	1			Конструктивный элемент брони	ПКП — максимальные параметры ударника (скорость, угол встречи от нормали) при которых преграда остается кондиционной, после поражения; ПСП — толщина монолитной брони, пробиваемой снарядом насквозь при условии полного расходования его энергии на пробитие; ППС — частота получения кондиционных поражений монолитной броней, имеющей заданную толщину
Броня			1	Комплекс конструктивных элементов, специально предназначенный для предотвращения распространения ПФ внутри конструкции	Противоосколочная, противопульная, противоснарядная
Преграда броневая		1		Граница для ПФ, разрушающий ПФ повреждает преграду, проникающий ПФ преобразуется по уровню и виду	Живучесть — способность сохранять защитные свойства после многократного воздействия ПФ
Цель			1	Информационный сигнал, ориентирующий на объект возможного удара оружием	Координаты, подвижность, защищенность, опасность
Оборудование ВГМ	1			Взаимное расположение и закрепление компонентов структуры изделия (компоновка)	Устойчивость — способность сохранять работоспособное состояние во время действия на него определенного ПФ; прочность — способность сохранять работоспособное состояние после воздействия на него определенного ПФ
Защита			1	Пространство за броней	Снижение действия ПФ

Таблица 2

Классификация событий

События	Объект	Определение	Степени
Попадание	ВГМ	Последствия удара оружием, реализованная угроза, воздействие ПФ на объект	Опасное, не опасное
Поражение	Защитная структура	Воздействие ПФ на объект нанесения ущерба	Кондиционное, некондиционное
Повреждение	ВГМ	Нарушение исправного состояния при сохранении работоспособности	Перечень деградировавших функций
Ущерб	ВГМ	Снижение ценности, деградация	Полный, частичный, нулевой
Вред	Экипаж	Нарушение здоровья	Степень превышения предельно допустимого уровня (ПДУ) вредного воздействующего фактора
Отказ	Оборудование ВГМ	Нарушение работоспособности в результате дефекта, поражения или износа	Полное, частичное, временное, постоянное
Пробитие	Защитная структура	Некондиционное поражение всех преград защитной структуры	Сквозное — с прониканием первичного ПФ; частичное
Разрушение	Преграда броневая	Действие по нарушению целостности преграды	Полное, пробитие, ущерб
Проникание	Броня	Мера прохождения ПФ через броню	Отсутствие, допустимое, недопустимое

Свойства: устойчивость, прочность, живучесть, защищенность, стойкость, работоспособность, неработоспособность, огневая мощь, могущество по цели, поражающее действие боеприпаса, мощности поражающих факторов боеприпаса, сопротивляемость цели, вид и степень защищенности цели, боеспособность, бронепробивная способность, защита от бронепробивающих средств, сохранение боеспособности экипажа, непоражение боекомплекта, жесткость, стойкость узлов и деталей, бронепробиваемость, противоснарядная и противоккумулятивная стойкость.

Налицо полное отсутствие семантической интероперабельности между аспектами поля боя со стороны нападения и со стороны защиты, например, термином «поражение» обозначаются совершенно разные события, при этом критерии эффективности не являются независимыми от условий оценки и не безразмерны.

Для целей моделирования предлагается однозначно классифицировать термины и их отно-

шения между собой, не выходя за пределы традиционной терминологии.

Для иллюстрации рассмотрим востребованность семантической интероперабельности при необходимости совместного рассмотрения производственной, функциональной и конечно-элементной моделей на примере изготовления, доставки, использования и оценки результатов применения по назначению артиллерийского выстрела с бронебойным подкалиберным снарядом (БПС) для танкового орудия.

Производство, хранение и применение боеприпасов:

1. Изготовление изделий 3БМ42 на механическом заводе (рис. 2): изготовление и сборка корпуса активной части, ведущего устройства и стабилизатора; хранение и перевозка на завод, имеющий лицензию на производство боеприпасов;

2. Снаряжение выстрела 3ВБМ17 (рис. 3): сборка бронебойного подкалиберного снаряда, состоящего из 3БМ42, порохового заряда, трасера и сгораемой гильзы, а также метательного



Рис. 2. Изготовление изделий 3БМ42 на механическом заводе



Рис. 3. снаряжение выстрела 3ВБМ17

заряда, состоящего из поддона, гальваноподарной
штулки 4В2, порохового заряда и сгораемой гиль-
зы; упаковка готового выстрела ЗВБМ17 в фут-
ляры ЗЯК7, ЗЯК13 или ящики ЗЯ28, ЗЯ40;

3. Транспортировка и хранение на складе боеприпасов готовых артиллерийских выстрелов ЗВМ17 с бронебойным подкалиберным снарядом ЗБМ44 и зарядом 4Ж63;

4. Заряжание артиллерийского выстрела в систему 2А46, наведение и производство выстрела из танкового орудия (рис. 4);

Преобразование боеприпасов в поражающие факторы на примере БПС:

1. Формирование средства поражения: разделение артиллерийского выстрела с отделением поддона и ведущего устройства, движение активной части БПС по внешнебаллистической траектории до соприкосновения с броней (рис. 5);

2. Формирование первичного поражающего фактора: взаимодействие ударника с преградой, на определенной скорости и углах;

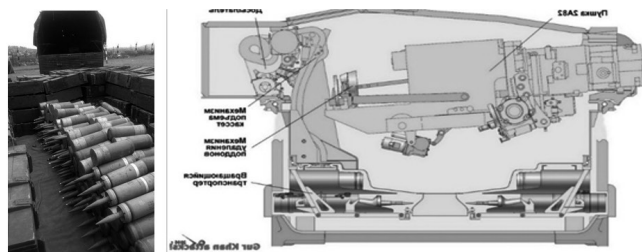


Рис. 4. Транспортировка, хранение и использование артиллерийского выстрела

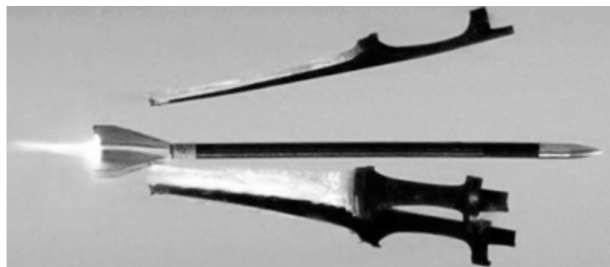


Рис. 5. Формирование средства поражения

4. Формирование вторичных поражающих факторов: распространение ударной волны по пораженной преграде, срабатывание динамической защиты и формирование бризантной и фугасной волн, движение вторичных осколков по защитной структуре (рис. 6);

5. Результат взаимодействия: фиксирование регистрирующей аппаратурой параметров вторичных поражающих факторов на местах экипажа и местах установки оборудования ВГМ;

6. Оценка результатов применения комплекса вооружения по защищенному объекту: определение ущерба конструкции, повреждения брони, вреда экипажу от единичного попадания в процессе функционирования КВ с заданными условиями применения, анализ видов повреждений и критичности отказов для работоспособности защищенного объекта, повторное воздействие КВ по поврежденному объекту.

Цели комплексного моделирования: оценка защищенности ВГМ для заданных условий применения и противодействия, оценка эффективности комплекса вооружений по защищенному объекту, корректировка условий применения комплекса вооружений либо способа использования защищенного объекта.

При проектировании средств поражения и защитных структур необходимо использовать сопоставимые критерии подобия, также необходимы критерии сопоставления эффективности комплексов вооружения и средств защиты. Примером корректных критериев подобия являются числа Прандтля (Pr), Нуссельта (Nu), Грасгофа (Gr) для теплообмена, число Рейнольдса (Re) для течения жидкости, коэффициент Пуассона (μ) и число Ньютона (Ne) в механике.

Сегодня в качестве критериев эффективности используются такие параметры, как предел кондиционного поражения (ПКП), предел сквозного пробития (ПСП), предел противокумуля-

тивной стойкости (ППС), эквивалентная толщина (масса) равностойкой монолитной стальной брони средней твердости, расход боеприпасов на уничтожение (подавление), величина заданного ущерба, огневая (поражающая) мощь.

Перечисленные критерии эффективности не отвечают требованиям теории подобия и, должны быть дополнены. Так, например, ПКП первоначально применялся для подтверждения кондиционности партии броневое проката при испытаниях образца от данной партии одним видом снарядов. Для всего изделия в целом кондиционное поражение последней преграды в защитной структуре определяет факт выполнения необходимого, но не достаточного условия защиты от единственного вида ударника. Кроме того, результат воздействия ударника другой конструкции, имеющего тот же ПСП по монолитной стали средней твердости, при работе по сложной защитной структуре может значительно отличаться в произвольную сторону. Это не значит, что подобные данные бесполезны для цифровых методов определения уровней защищенности. Массив экспериментальных данных по ПКП, ПСП и ППС представляет собой материал для верификации конечноэлементных моделей простых преград и ударников, на основе которых можно формировать цифровые эксперименты в полной постановке.

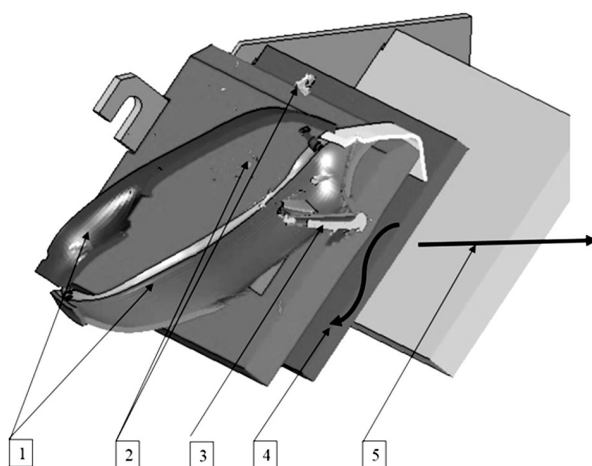


Рис. 6. Формирование поражающих факторов.
1 — пластины ДЗ; 2 — осколки; 3 — фрагменты ударника; 4 — высокочастотные вибрации; 5 — ударная волна

Таким образом, изменившийся характер современных боевых действий не соответствует картинам, изученным по итогам ВОВ, поэтому сложность взаимодействия с противником можно рассматривать как вероятностную лишь в первом приближении. Для более детальных исследований необходимо использовать концепции «Индустрии 4.0», а в частности, использовать виртуализацию поля боя посредством цифровых двойников комплексов вооружений. Однако для этого требуется однозначно классифицировать термины, описывающие возможности ударных средств и защитные свойства ВГМ.

Литература

1. Буренок М.В., Халитов В.Г. Защита бронетанковой техники от противотанковых средств // Вооружение и экономика. 2021. № 55. С. 11–17.
2. Григорян В.А., Юдин Е.Г., Терехин И.И., и др. Защита танков. Т. 1. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 327 с.
3. Исаков П.П., Иванов В.А. Теория и конструкция танка. Т. 4. М.: Машиностроение, 1984. 348 с.
4. Григорян В.А., Белобородько А.Н., Дорохов Н.С. Частные вопросы конечной баллистики. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 592 с.
5. Данилин Г.А., Огородников В.П., Заволокин А.Б. Основы проектирования патронов к стрелковому оружию. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2005. 374 с.
6. Фендриков Н.М., Яковлев В.И. Методы расчетов боевой эффективности вооружения. М.: Военное издательство Министерства обороны СССР, 1971. 224 с.
7. Бабкин А.В., Велданов В.А., Грязнов Е.Ф. и др. Средства поражения и боеприпасы. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 984 с.
8. Балаганский И.А., Мержиевский Л.А. Действие средств поражения и боеприпасов. 2-е изд. Новосибирск: НГТУ, 2017. 408 с.
9. Warren W. Science and Complexity // American Scientist. Vol. 4. No. 36, 1948. P. 11.
10. Hermann M., Pentek T., Otto B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios // researchgate.net. 2015. URL: <https://www.researchgate.net/publication/307864150> (дата обращения: 12.02.2022).
11. Баранов И.И., Кислицын С.А., Хмельников Е.А., Шадрин И.Д. Боеприпасы, средства поражения и поражающие факторы. Общность и различия понятий для целей математического моделирования // Молодежь и наука. Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2023. С. 53.
12. Свертилов Н., генерал-полковник. Руководство по эксплуатации ракетно-артиллерийского вооружения. Приложение к приказу начальника вооружения ВС РФ; № 27 от 14.09.2006. М., 2006. 261 с. https://vii.sfu-kras.ru/images/Osn_chast.pdf (дата обращения: 12.02.2022).